

Коэффициент n-ой гармонической составляющей, %

n	Ua	Ub	Uc	Ia	Ic
1	95,84	93,33	112,3	100	100
2	0,4	0,31	0,57	0,32	0,5
3	0,18	0,2	0,76	3,9	3,05
4	0,25	0,05	0,41	0,05	0,03
5	0,2	0,01	0,66	1,66	1,35
6	0,25	0,03	0,17	0,02	0,04
7	0,13	0,17	0,19	0,1	0,24

Можно сделать вывод о том, что основным источником отклонений ПКЭЭ от нормированных являются нелинейные нагрузки, характерные для преобразователей прокатного стана. Но при правильном использовании фильтрокомпенсирующих устройств ПКЭЭ можно привести к удовлетворяющим величинам. Требуется более детальный анализ и дополнительные измерения для оценки основного источника искажений ПКЭЭ. Но в целом делается вывод, что установки РГ удовлетворяют показателю (3) в [4] и, тем самым, создают экономические плюсы при их использовании.

Библиографический список

1. ГОСТ 13109-97 Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения.
2. Баркан Я.Д. Эксплуатация электрических систем. М.: Высшая школа. 1990.
3. Коган Ф.Л. Анормальные режимы турбогенераторов. М., 1988.
4. Бартоломей П.И., Паниковская Т.Ю., Чечушков Д.А. Анализ влияния распределенной генерации на свойства ЭЭС // Энергетика России в 21 веке – Восточный вектор: Сб. тр. объединенного симпозиума. Иркутск, 2010. С4-5.
5. Паниковская Т.Ю., Чечушков Д.А. Математическая модель для оценки инвестиционной привлекательности распределенной генерации // Энергетика глазами молодежи: Сб. тр. Всерос. науч.-техн. конф. Екатеринбург, 2010. С. 370-374.

РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ В РЕАКТОРЕ ГИДРОКРЕКИНГА С ПРИМЕНЕНИЕМ КАТАЛИЗАТОРА В ВИДЕ НАНОЧАСТИЦ

*Чистяков К. А., Белоусова О. А., Павлович О. Н.
УрФУ*

Расход энергии на проведение химических реакций гидрокрекинга является одной из важнейших характеристик технологического процесса. Одной из целей теплового расчета процесса в реакторе гидрокрекинга является определение расхода теплоносителя или охлаждающего агента. Рассмотрим тепловой баланс реактора в процессе гидрокрекинга с суспендированным катализатором [1]. Поскольку размер частиц катализатора на несколько порядков ближе к размеру молекулы нефти, чем любого катализатора на носителе, то в реакторе происходит сохранение гомогенной среды.

Уравнение теплового баланса реактора можно представить в следующем виде:

$$Q_{\text{прих}} = Q_{\text{расх}}, \text{ или } Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5,$$

где Q_1 – теплосодержание смеси исходных веществ, при загрузке в реактор, кДж/ч; Q_2 – тепло, которое необходимо подвести к реакционной массе или отвести от нее для обеспечения нужного температурного режима процесса, кДж/ч; Q_3 – тепловой эффект процесса, кДж/ч; Q_4 – теплосодержание реакционной массы (продуктов реакции) при соответствующей температуре, кДж/ч; Q_5 – тепловые потери в окружающую среду, кДж/ч.

Учитываем теплосодержание наночастиц катализатора в составе рециркулянта.

Расчет теплосодержания смеси исходных веществ, кДж/кг, находим по формуле:

$$Q_1 = G_{\text{гуд}} C_{\text{гуд}} T_{\text{гуд}} + G_{\text{рец}} C_{\text{рец}} T_{\text{рец}} + G_{\text{вод}} C_{\text{вод}} T_{\text{вод}},$$

где $G_{\text{гуд}}$, $G_{\text{рец}}$, $G_{\text{вод}}$ – массовые расходы соответственно сырья (гудрона), рециркулянта (тяжелого остатка с температурой кипения $> 350^\circ\text{C}$, содержащего катализатор в виде наночастиц) и водорода; $C_{\text{гуд}}$, $C_{\text{рец}}$, $C_{\text{вод}}$ – теплоемкости соответственно сырья, рециркулянта и водорода; $T_{\text{гуд}}$, $T_{\text{рец}}$, $T_{\text{вод}}$ – температуры соответственно сырья, рециркулянта, водорода.

Тогда $Q_1 = 20830 \cdot 2,09 \cdot 733 + 5000 \cdot 2,15 \cdot 703 + 750000 \cdot 14,33 \cdot 723 = 7809910685$ кДж/ч.

Расчет теплосодержания реакционной массы, кДж/час, находим по формуле:

$$Q_4 = G_{\text{пр}} C_{\text{пр}} T_{\text{пр}} + G_{\text{вод}} C_{\text{вод}} T_{\text{вод}} + G_{\text{ам}} C_{\text{ам}} T_{\text{ам}} + G_{\text{св}} C_{\text{св}} T_{\text{св}} + G_{\text{увг}} C_{\text{увг}} T_{\text{увг}},$$

где $G_{\text{пр}}$, $G_{\text{вод}}$, $G_{\text{ам}}$, $G_{\text{св}}$, $G_{\text{увг}}$ – массовые расходы соответственно продукта реакции (смесь нефтепродуктов), непрореагировавшего водорода, аммиака, сероводорода и углеводородных газов ($C_1 - C_4$); $C_{\text{пр}}$, $C_{\text{вод}}$, $C_{\text{ам}}$, $C_{\text{св}}$, $C_{\text{увг}}$ – теплоемкости соответственно продукта, водорода, аммиака, сероводорода и углеводородных газов; $T_{\text{пр}}$, $T_{\text{вод}}$, $T_{\text{ам}}$, $T_{\text{св}}$, $T_{\text{увг}}$ – температуры соответственно продукта, водорода, аммиака, сероводорода и углеводородных газов.

Тогда $Q_4 = 19542 \cdot 2,1 \cdot 713 + 749375 \cdot 14,63 \cdot 713 + 167 \cdot 0,622 \cdot 713 + 667 \cdot 0,254 \cdot 713 + 1667 \cdot 3,6 \cdot 713 = 7850606955$ кДж/ч.

Тепловой эффект процесса гидрокрекинга равен 832 кДж/кг [2]. Следовательно, при производительности реактора, равной 25830 кг/ч, тепловой эффект процесса, Q_3 равен 21490560 кДж/ч.

С учетом техники безопасности температуру наружной поверхности теплоизоляции при нагревании принимаем равной 40°C . Минимальная толщина слоя изоляции равна 0,06 м [3].

Потери тепла от реактора в окружающую среду, кДж/кг, рассчитываем по формуле:

$$Q_5 = \alpha_{\text{возд}} F_{\text{изол}} \tau (t_{\text{изол}} - t_{\text{возд}}),$$

где $\alpha_{\text{возд}}$ – коэффициент теплопередачи от стенки к воздуху, учитывающий передачу тепла как конвекцией, так и лучеиспусканием, Вт/(м²·К°); $\alpha_{\text{возд}} = 9,74 + 0,07(40 - 20) = 11,14$ Вт/(м²·К°) [3]; $F_{\text{изол}}$ – площадь поверхности изоляции реактора, через которую тепло теряется в окружающую среду, м²; τ – продолжительность тепловой ступени процесса, с; $\tau = 3600$ с.

$$F_{\text{изол}} = 2\pi rL,$$

где L – высота реактора, м; r – сумма радиуса реактора и минимальной толщины изоляции, м.

Тогда $F_{\text{изол}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot 26 = 244,92$ м², а $Q_5 = 11,14 \cdot 244,92 \cdot 3600 \cdot 20 = 196445433$ кДж/ч.

Полученные результаты сведены в итоговую таблицу.

Тепловой баланс реактора гидрокрекинга

Статьи прихода			Статьи расхода		
Тепловая энергия	кДж/ч	%, масс.	Тепловая энергия	кДж/ч	%, масс.
1. Теплосодержание смеси исходных веществ	7809910685	99,7	1. Теплосодержание реакционной массы	7850606955	97,6
2. Тепловой эффект процесса	21490560	0,3	2. Тепловые потери в окружающую среду	196445433	2,4
Итого:	7831401245	100	Итого:	8047052388	100

Невязка баланса равна $(7831401245 - 8047052388) / 7831401245 \cdot 100 = 2,75$ %, что находится в пределах допустимого.

После расчета теплового баланса можно сделать вывод, что реактор не нуждается в отводе или подводе тепла извне, то есть расходе теплоносителя или охлаждающего агента. Температура по высоте реактора поддерживается за счет теплового эффекта экзотермической реакции гидрокрекинга.

Поскольку размер частиц суспендированного катализатора на несколько порядков ближе к размеру молекулы нефти, чем любого катализатора на носителе, то в реакторе происходит сохранение гомогенной среды, и теплосодержание катализатора возможно учитывать в составе рециркулята, нет потерь тепла на нагрев носителя.

Библиографический список

1. Облагораживание сверхтяжелого сырья гидрокрекингом // Нефтегазовые технологии. 2010. № 6. С. 82.
2. Абад-заде И. Х. Закономерности гидрокрекинга тяжелых нефтяных остатков // Химия и технология топлив и масел. 2009. № 4. С. 23–25.
3. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Г.С. Борисов, В.П. Брыков, Ю.И. Дытнерский, 2-е изд., перераб. и дополн. М.: Химия, 1991. 496 с.